

(pues lo que es no resistente o resistente se describe como tal en virtud de su ser modificado de alguna manera).

Es, pues, evidente que, de entre los cuatro factores, dos son activos y dos pasivos. ... " Meteoros, IV, 1.

4-Por explicación racional se entiende una construcción teórico-explicativa que no necesariamente implica la realización fáctica del proceso. La cuestión de la facticidad del proceso

será estudiada en el contexto de la alquimia, en un próximo trabajo.

#### Bibliografía

*Aristóteles. Obras.* Traducción del griego, estudio preliminar, preámbulos y notas por Francisco de P. Samaranch. Madrid: Aguilar. 1964.

*The Works of Aristotle.* Volume I. Great books of the Western World. Encyclopaedia Britannica. Chicago: The University of Chicago Press. 1971.

*Acercas de la generación y la corrupción.* Introducción, traducción y notas de Ernesto La Croce. Madrid: Editorial Gredos. 1987.

*Meteoros. En Los científicos griegos.* Recopilación, estudio preliminar, preámbulos y notas por Francisco Vera. Madrid: Aguilar. 1970.

## Átomos y modelos atómicos: 1814-1914

Prof. H. W. SCHÜTT

Hay varias razones para hacer historia de la ciencia. Una de estas razones surge del campo de la didáctica (enseñanza). Si pensamos, por ejemplo, en las dificultades que los profesores de química tienen que superar cuando tratan de explicar los fenómenos de combustión comprenderemos cuán útil puede ser hablar de las teorías de la combustión del pasado y de los argumentos con los que fueron refutadas.

Hablar de los conceptos históricos de átomos y de atomismo puede ser también de gran importancia para resolver problemas didácticos de la moderna teoría atómica. Muchos estudiantes de humanidades, y aun estudiantes de química tienen dificultades para captar el formalismo matemático de la teoría física de hoy y para comprender los fenómenos que están más allá del alcance de las percepciones visuales. Pero con la ayuda de la historia pueden alcanzar al menos una importante meta: se puede comprender por qué el átomo de hoy llegó a ser lo que es; o -en otros términos- por la comprensión de la necesidad histórica del concepto de átomo actual puede comprender la intrínseca necesidad de tener este concepto particular.

Entremos en materia. El "siglo del electrón", es decir, el "siglo del átomo moderno", como el historiador de la química Aaron Ihde ha denominado nuestro tiempo, surgió lentamente allá en los principios del siglo XIX. No quiero extenderme en las dificultades metafísicas que el átomo indivisible, y el átomo indivisible y específico de un elemento de John Dalton tuvo que enfrentar, especialmente a los ojos de muchos positivistas. Quiero consagrarme solamente a una muy importante noción del atomismo daltoniano, a saber, la suposición que, por la misma definición, "átomo" significa "indivisible" - que el átomo no puede ser dividido, esto es, que no tiene partes específicas, y que toda la materia ponderable está compuesta por átomos.

Sin sorpresa alguna, la historia del atomismo moderno empezó con el descubrimiento de fenómenos que se escapaban a su explicación dentro del esquema teórico de las ciencias de aquellos días. Estos descubrimientos iniciaron un desarrollo histórico que manifiesta una cierta estructura interna:

1- Al principio se dan descubrimientos empíricos, los cuales en nuestro caso no fueron inducidos por la teoría.

2- Luego existe la sensación de que esos fenómenos

pertenecen a un grupo mayor de fenómenos o de conceptos teóricos -en nuestro caso al concepto de atomismo. Esta percatación puede ser espontánea o tomar cierto tiempo para darse.

3- Si los fenómenos descubiertos recientemente no encajan en el marco teórico en que debieran encajar, este marco teórico debe ser reestructurado.

4- La nueva estructura o nueva teoría da lugar a nuevas cuestiones empíricas y descubrimientos que a su vez la pueden poner en peligro.

Esto puede marcar el inicio de un nuevo ciclo, y en consecuencia se puede concebir el todo del desarrollo histórico como una relación dialéctica de descubrimientos empíricos y teóricos o suposiciones en las cuales ambos grupos funcionan -tanto como respuestas y como preguntas o predicciones. En otras palabras, la teoría Alfa plantea el problema empírico doble alfa que, si no se puede explicar por ella, nos lleva a la teoría Beta, la que a su vez plantea el problema empírico doble beta, y así sucesivamente.

Ahora bien, hay varios tipos de explicaciones que son "teóricas", aunque en un sentido muy amplio. Uno de esos tipos se denomina modelos. Los modelos pueden cumplir varias funciones. Son aptos para visualizar suposiciones teóricas y así cumplen principalmente propósitos didácticos. Pero también funcionan como marco para cuestiones teóricas. En este caso, todas las consecuencias conocidas de una teoría dada se conforman en un modelo para mostrar dónde la teoría es inconsistente, contradictoria o presupone importantes cuestiones. Es este tipo de modelos que es tan importante en la historia de las teorías atómicas modernas hasta el principio del siglo XX,

Ahora deseo considerar especialmente tres grupos de fenómenos que llevaban más allá de los átomos de Dalton. (Por problemas de tiempo, no considero la electroquímica y todas las teorías de la afinidad). Los tres grupos que me interesan son:

- 1- Los rayos catódicos y rayos en canal.
- 2- Los espectros.
- 3- La radiactividad.

Los rayos catódicos y rayos en canal fueron descubiertos por físicos que experimentaban con diodos (diode) o válvulas electrónicas. En 1858, Julius Plücker, al enviar electricidad a través de gases enrarecidos, descubrió un punto débilmente resplandeciente en la pared del tubo. Once años más tarde, Wilhelm Hittorf encontró que este punto podía moverse en un campo magnético. - Pero ¿cuál era la naturaleza de esos misteriosos rayos? En 1879, William Crookes dio una primera respuesta.

Él mostró que los rayos catódicos producen una sombra característica y que el modo en que los rayos se comportaban en un campo magnético indicaba que

llevaban cargas negativas. Además, Crookes trató de probar su hipótesis de que los rayos eran corrientes de materia, poniendo una pequeña hélice o molino en la trayectoria de los mismos. La hélice giró y ello pareció comprobar que era impulsada por una corriente de corpúsculos. Veinte años más tarde, Joseph John Thomson mostró que el impulso de las partículas era muy débil para hacer girar la hélice y que era la gradiente de calor la responsable del efecto.

La helicotrotoria de Crookes resultó uno de esos casos donde una hipótesis básicamente correcta tiente al científico a plantear conclusiones empíricas que parecen probar la hipótesis. Fue Thomson quien estableció la hipótesis de la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos sobre sólidas bases empíricas. El todavía no podía medir la carga eléctrica y masa de un simple corpúsculo separado, pero la relación "e entre m" (e/m) sugirió una densidad eléctrica muy alta.

En 1897, Thomson sugirió que el corpúsculo -ahora denominado electrón - debía tener una carga negativa tan grande como la carga positiva de un ion de hidrógeno, pero con una masa de solamente una milésima del mismo. Entre 1907 y 1918, Robert A. Millikan realizó sus famosos experimentos de la gota de aceite para determinar la carga exacta del electrón.

Naturalmente, el descubrimiento del electrón fue un duro golpe al concepto de átomo de Dalton, puesto que por definición un átomo no debía emitir partículas materiales. Pero este hecho empírico no fue suficiente para destronar el paradigma daltoniano. Pues como se sabe, por muchas otras situaciones, un paradigma puede resistir inconsistencias hasta que las mismas no provoquen que se plantee un paradigma alternativo que compita con él.

En nuestro caso una importante cuestión permaneció sin resolver: ¿Qué es lo que queda cuando un electrón deja el átomo? En este punto, los llamados rayos en canal indicaron el camino hacia una respuesta. En 1886, Eugen Goldstein, al usar altas tensiones de aspiración, descubrió una débil franja fluorescente detrás del cátodo de una válvula electrónica, después que él había perforado un hueco en el cátodo. Este descubrimiento permaneció sin ser notado hasta 1898, en que Wilhelm Wien, al usar campos eléctricos y magnéticos fuertes, pudo probar que los rayos en cuestión eran los iones que quedan después que los electrones abandonan el átomo.

En este momento, se puede afirmar definitivamente que el átomo de Dalton ha caído en pedazos. El átomo no es "átomo", esto es, indivisible, sino un sistema de partículas que solamente por razones de conveniencia todavía llamamos átomo.

Hay otra área de investigación que también sugirió que el átomo no es indivisible, que puede ser alterado, y que en algunos casos puede aún alterarse a sí mismo. Esta es, como se puede adivinar. El campo de la radiactividad.

Al inicio de la investigación en radiactividad, encontramos lo que suele llamarse un "descubrimiento totalmente casual", que, si se considera con más cuidado, no ha simplemente "sucedido", sino que es el resultado de una investigación planeada. En 1896, Henri Becquerel "no dejó" simplemente un compuesto de uranio envuelto en una placa fotográfica, la que resultó expuesta. Por el contrario, Becquerel intencionalmente experimentaba con sales fluorescentes y sus efectos sobre placas fotográficas para determinar si había una conexión entre fluorescencia y rayos-X. La verdadera sorpresa del descubrimiento consistió en el hecho de que las sales de uranio ennegrecieron las placas aunque no eran fluorescentes.

La química Marie Sklodowska Curie y su esposo, el físico Pierre Curie, empezaron a investigar este fenómeno de la radiactividad desde un punto de vista más químico. Con paciencia admirable, Madame Curie analizó toneladas de Pechblenda con métodos químicos convencionales. Pero la pareja probó cada fracción del material respecto de la radiactividad. En 1898, encontraron un nuevo elemento fuertemente radiante, en un precipitado de bismuto, y lo bautizaron "Polonio". Más tarde en el mismo año, en un precipitado de bario, descubrieron el "Radio". Fueron necesarios cuatro años para obtener 100 miligramos de cloruro de radio que espectrográficamente no mostrara trazas de bario.

Pero ¿qué era este fenómeno de la radiactividad? Al principio, Becquerel mismo pensó que había encontrado lo que estaba buscando, a saber, rayos-X, pero después de obtener la deflexión de la radiación en campos magnéticos, tanto él como Fritz Giesel, llegaron a la conclusión que las sales de uranio emitían electrones, esto es, rayos catódicos. Durante ese mismo año, Ernest Rutherford encontró otro tipo de radiación, que llamó radiación alfa, en contraposición a la encontrada por Becquerel y Giesel, a la que llamó beta.

Después de muchos intentos fallidos, Rutherford y su grupo, en 1903, lograron someter a reflexión a los rayos-alfa, midieron la relación carga-masa, y demostraron que los corpúsculos debían tener una carga positiva. Como hay siempre trazas de helio en el uranio, Rutherford sospechó que en una forma u otra el helio debe ser un producto de la radiación, y en 1908, él y Thomas Royds pudieron verificar que la radiación emitida por el recientemente descubierto gas elemental y radioactivo "radon" estaba realmente compuesta por núcleos de helio.

Esto significa que si un elemento emite rayos alfa, su carga nuclear disminuirá en dos unidades, y esto a su vez, significa que los átomos no solamente se desintegran bajo ciertas circunstancias, sino que ellos pueden transmutarse de uno en otro. Esto, también, es completamente contrario al concepto clásico de átomo, el de Dalton. Un tercer tipo de radiación resultó ser el que Becquerel buscaba: la radiación gama. En 1914, Rutherford y sus colaboradores la difrataron y mostraron que debía ser rayos-X de onda muy corta.

¿Puedo reiterar lo que dije antes? Hacia el final del siglo XIX, el átomo no podía ser considerado más una pieza sólida de materia, sino un sistema de partículas subatómicas. ¿Pero cómo se conforma este sistema? ¿Cuál es el nuevo paradigma que reemplazará al antiguo? En este punto, el todavía no explicado fenómeno de la luz modificada por la materia, es decir, el espectro, viene a cuento. Ya en 1814 -y esta es la fecha más temprana en nuestra lista de eventos-, Joseph von Fraunhofer había descubierto espectros de absorción en la luz del sol, y en 1859 Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff lo habían utilizado para desarrollar la espectrografía que les permitió descubrir dos elementos, el Rubidio y el Cesio.

Pero la causa de los espectros permanecía sin explicación. En 1895 la capacidad de la luz de presentar espectros se expandió notoriamente por el descubrimiento de W. K. Rontgen de los rayos-X. Y en 1912, Max von Laue, mediante la producción de fenómenos de difracción en cristales, fue capaz de probar que los rayos-X eran ondas electromagnéticas de onda muy corta. Solamente un año después, Henry Moseley encontró una línea espectral dentro del ámbito de onda de los rayos-X. Esto requiera una breve explicación. Cuando los rayos catódicos dan en un blanco, el así llamado "anticátodo", se pueden distinguir dos tipos de radiación.

Una es independiente del material del anticátodo, como ocurre, porque los electrones pierden energía por la radiación de freno. Pero el otro tipo de radiación es emitido por los átomos del anticátodo. Los rayos-X emitidos por anticátodos de diferentes materiales muestran diferentes espectros que son muy similares y pueden ser agrupados en series. La posición del espectro de un cierto elemento en la serie corresponde a la posición de ese elemento en la tabla periódica. Se sabe que la tabla periódica propuesta por Víctor Meyer y Dimitri Mendelejeff está basada en los pesos atómicos como uno de sus parámetros fundamentales. El descubrimiento de Moseley no solamente mostró que este supuesto, adoptado por todos los químicos, era erróneo, sino también corrigió algunas inconsistencias en la tabla periódica.

Si se toma el número atómico de los elementos, en lugar del peso atómico, los elementos, el yodo, potasio, níquel y cobalto ocupan sus posiciones correctas. En su famosa publicación de 1913, Moseley también predijo un nuevo elemento, ahora llamado Prometeo, y que fue descubierto hasta 1945.

En este punto, entre 1913 y 1914, a cien años del descubrimiento del espectro solar, y al borde de la Primera Guerra Mundial, me detendré, pues se han reunido suficientes hechos empíricos para plantear el "cuándo" y el "cómo" de los paradigmas que destronaron el concepto daltoniano de los átomos.

En el cambio de siglo, Lord Kelvin y Johannes Stark propusieron modelos del átomo que denotaban una distribución desigual de las cargas eléctricas, pero fue

Thomson, quien en 1903 fue el primer físico que trató de combinar todos los hechos conocidos en un sistema que pudiera ser tomado como un modelo comprensivo, lo que significa, un cuadro sensorial de los átomos. - Había solamente algunos hechos de los que estaba seguro:

1-El átomo no podía ser eléctricamente homogéneo, sino que debía estar compuesto de al menos dos componentes con carga diferente.

2-El electrón debía tener una masa relativamente pequeña.

3-Puesto que los electrones pueden ser emitidos por sustancias radiactivas, debe haber átomos inestables, o estados inestables de los mismos.

4-La posición de los diferentes elementos en la tabla periódica, así como ciertas cualidades de los mismos, por ejemplo el número de las valencias, debe, de alguna manera, reflejarse en la estructura interna del átomo.

Thomson construyó su modelo de acuerdo con estas condiciones, y yo lo considero perfectamente consistente desde un punto de vista lógico. Según el modelo, el átomo es una bola de materia. La mayor parte de ella está cargada positivamente. Injertados dentro de esta masa positiva están los electrones, que no se distribuyen al azar, sino en cierto arreglo, tanto sobre la superficie de la masa positiva como en su interior a ciertas distancias de la superficie.

El modelo de Thomson, que por obvias razones fue llamado "strawberry or plumpudding model" parecía muy eficiente. La distribución y el agrupamiento de los electrones en ciertas capas explicaban la periodicidad de los elementos y la valencia específica, en tanto que los electrones de valencia se suponían colocados en la superficie del átomo, siendo, en consecuencia, fácilmente removibles. El modelo también explicaba la propiedad de inerte de los gases nobles, dado que la superficie de sus átomos no poseía electrones. Y explicaba él por qué las cuatro valencias del carbono apuntaban los vértices de un tetraedro, pues los cuatro electrones de su superficie se colocaban a la más grande distancia posible entre ellos.

Pero Thomson mismo sabía que su modelo presentaba debilidades. Por ejemplo, su modelo no podía explicar por qué la relativamente gran masa positiva del átomo con algunos puntos de carga negativa no era inestable. Además, no podía explicar que sucedía en el caso de enlaces homeopares donde debemos suponer que las masas se penetran mutuamente.

Especialmente el problema de la distribución homogénea de masas con carga ya había llevado a la discusión de "modelos planetarios" simples, en los que partículas con carga giran alrededor de un centro de masa. El primero de dichos modelos fue propuesto por Wilhelm Weber en 1890. Pero todos estos modelos no tenían buenas bases empíricas. En este contexto, el más importante de los modelos, o mejor,

el bosquejo de un modelo, fue publicado por Philipp Lenard en 1903.

Había investigado el paso de rayos catódicos a través de hojas metálicas, que tenían un diámetro de solamente 1 my (Millimiy), y encontró que los electrones rápidos pasaban por la hoja sin ser notoriamente desviados. Sobre la base de una relación entre la difracción de los electrones lentos y su velocidad, Lenard postuló que el radio efectivo del átomo era solamente alrededor de una diezmilésima del radio del átomo en la cinética de gases.

Además, descubrió que los electrones lentos eran sometidos a influencia por los campos de carga que rodeaban el núcleo. En átomos neutros estos campos debían tener una carga igual a la del núcleo, aunque negativa. El llamado modelo de las Dos Fuerzas necesitaba de hechos adicionales para llegar a ser un modelo verdadero. Especialmente, se requería de información acerca de la masa del núcleo y la estructura de la envoltura atómica, y no estaba totalmente claro si los electrones conformaban dicha envoltura. Entre 1906 y 1913, Rutherford y sus colaboradores, repitieron los experimentos de difracción de Lenard, pero usaron partículas alfa como los proyectiles.

Por la medición del ángulo de desviación en los pocos casos cuando una partícula alfa realmente es desviada, probaron que el núcleo representa toda la carga positiva y que esta carga es compensada por la carga negativa de la envoltura. Como los átomos no son dipolos permanentes, los electrones de la envoltura deben circular alrededor del núcleo exactamente como los planetas se mueven alrededor del sol. El sistema total está en un equilibrio dinámico de fuerzas centrífugas y de fuerzas de atracción del tipo Coulomb.

Había una muy grave deficiencia en este modelo. No podía explicar él por qué los espectros de los átomos, que surgen de la absorción o emisión de energía, no muestran líneas difusas emitidas por los electrones giratorios, sino que muestran las líneas claras y definidas que pueden verse en los espectros atómicos. Además, no podía explicar por qué el átomo era estable. Ello era un problema, puesto que en física clásica, partículas cargadas, cuando se mueven a alta velocidad, como lo hacen los electrones, pierden energía y en consecuencia se hacen más lentos, por lo que el equilibrio entre las fuerzas de Coulomb y las centrífugas debería romperse de inmediato. Los electrones deberían ser atraídos hacia el núcleo y caer en él en una micro fracción de segundo después de iniciar su movimiento (10 a la menos 8 segundos). Afortunadamente para todos nosotros esto no sucede.

El modelo de Rutherford fue tanto un modelo didáctico y un modelo teórico, esto es, una herramienta para la investigación. Su creador sabía muy bien que no representaba la totalidad de la realidad física.

Fue el discípulo de Rutherford, Niels Bohr, quien en 1913 dio

el primer y decisivo paso hacia la solución de este problema. Bohr usó las teorías de la física cuántica que habían sido desarrolladas por Max Planck alrededor de 1900. Según Bohr, el electrón solamente puede moverse en ciertas trayectorias circulares y, lo que es más importante, lo hacen sin perder energía. Una emisión de energía ocurre solamente cuando un electrón cae de un cierto nivel u órbita a otro inferior. Esto explica porqué los átomos son estables y porqué los espectros atómicos ofrecen líneas definidas.

Finalizaré en este punto, no sin antes señalar que el modelo semiclásico de Bohr podía resolver algunos problemas de los que no he hablado, pero que tenía también sus deficiencias. La interrelación entre teorías y descubrimientos empíricos continuó hasta los años treinta. Debiera también mencionar que la concepción de Louis de Broglie acerca de la naturaleza de la materia, el dualismo onda-corpúsculo de 1923, y las relaciones de incertidumbre de Heisenberg, en 1927, hacen imposible una mostración visual de la realidad física, al menos en el reino de la física nuclear.

## **Gutenberg: personaje del milenio**

Álvaro Zamora

Terminaba el milenio. Casi todos los procesos productivos y de comunicación (o al menos de información) estaban dominados por la tecnología, las pretensiones globalizadoras, el neoliberalismo. Entonces fue inventado un certamen para muertos venerables.

Se otorgaron premios de tipo económico, seguramente, para los mass media, los investigadores o promotores; para el gran público: pretensiones mitificadoras y sistemática información sobre personalidades que han marcado, con su obra, la cultura: Newton, Colón, Einstein, entre otros, fueron candidatos al primer lugar pero, tras inevitables deliberaciones, fue designado como Personaje del Milenio un artesano del siglo XV: Johannes Gensfleisch zur Laden, conocido o llamado Gutenberg, nacido, presumiblemente, en Maguncia hacia 1397 y fallecido en soledad, empobrecido, a los 71 años.

Se desempeñaba como escribiente (copista) en una especie de editora (bücherkopierender Verlagsschreiber) o, para ser preciso, en un lugar donde se confeccionaban libros. Debido a su oficio, conoció las técnicas de impresión con sellos de madera (semejantes a las que utilizaban en China desde antaño), que en Europa servían para hacer los llamados libros de bloque (Blockbücher), como el Calendario de Gmünd o Biblia Pobre y el Arte de la Memoria. Quizá por eso experimentaba (ya en 1437) con tintas importadas de Oriente y llegó a concebir un sistema de impresión con letras intercambiables.

No se sabe, a ciencia cierta, por qué a otros no les vino la idea<sup>1</sup>; lo cierto es que en 1437 Gutenberg diseñó una máquina con tipos de madera, cuya construcción encargó a los artesanos de la Mainzer Drechler Konrad Sasbach. Eventualmente mejoró el sistema: hacia 1445 contaba con moldes para chorrear letras de plomo. Hacía unas cien por hora; eran más útiles, durables y precisas que las anteriores. Así creó la imprenta. Hizo, con ella, un calendario y una gramática escolar de latín. Su más conocida obra es, sin embargo, la Biblia de 1282 folios, considerada como el primer libro impreso de la historia: letras góticas a dos columnas, magnífica, con imágenes y figuras en color.

La obra de aquel hombre consistió en unir y perfeccionar aparatos, dispositivos e ideas que ya existían: los sellos (que permiten repetir una misma letra), el conocimiento de los orfebres (para esculpir moldes de las letras y luego fundirlas en plomo), la prensa. Desde la perspectiva técnica eso es, esencialmente; su legado.

<sup>1</sup> He aquí, de nuevo, el problema de las mediaciones entre la praxis individual y la historia.